

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001年10月25日 (25.10.2001)

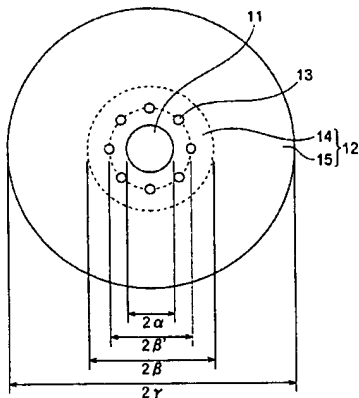
PCT

(10) 国際公開番号
WO 01/79902 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/22, 6/20 Masayuki). 大西正志 (ONISHI, Masashi); 〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/03282
- (22) 国際出願日: 2001年4月17日 (17.04.2001) (74) 代理人: 長谷川芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): AU, CA, CN, JP, KR.
- (30) 優先権データ:
特願2000-115524 2000年4月17日 (17.04.2000) JP (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
特願2000-132668 2000年5月1日 (01.05.2000) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP). 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (72) 発明者: 長谷川健美 (HASEGAWA, Takemi). 笹岡英資 (SASAKA, Eisuke). 西村正幸 (NISHIMURA, 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバ



(57) Abstract: An optical fiber comprises a core region, an inner cladding region, and an outer cladding region. The core region, the inner cladding region, and the outer cladding region extend along the fiber axis. A relation of $n_1 < n_2 < n_0$ is satisfied, where n_0 is the average refractive index of the core region, n_1 is the average refractive index of the inner cladding region, and n_2 is the average refractive index of the outer cladding region. Three or more regions consisting of a secondary medium with a refractive index different from that of the primary medium that forms the inner cladding region extend along the fiber axis in the inner cladding region.

WO 01/79902 A1

[続葉有]



(57) 要約:

コア領域と、内側クラッド領域と、外側クラッド領域とを有し、コア領域、内側クラッド領域、及び外側クラッド領域は、ファイバ軸に沿って伸び、コア領域の平均屈折率 n_0 と、内側クラッド領域の平均屈折率 n_1 と、外側クラッド領域の平均屈折率 n_2 との間に、 $n_1 < n_2 < n_0$ なる関係が成立する光ファイバにおいて、内側クラッド領域を構成する主媒質とは異なる屈折率を有する副媒質からなり、ファイバ軸に沿って伸びる領域が内側クラッド領域に3個以上含まれる構成を採る。

明細書

光ファイバ

技術分野

本発明は、光伝送路又は分散補償器として好適な光ファイバに関する。

背景技術

従来から、例えば、以下のような光ファイバが知られている。特開平 10-95628 号公報に開示されている微細構造光ファイバは、クラッド領域に囲まれた通常固体であるコア領域を有し、このクラッド領域は間隔をおいて配置された複数のクラッド特徴構造を有し、そのクラッド特徴構造はそのファイバ軸方向に長く伸び第 1 のクラッド材料中に配置されたクラッド特徴構造であり、そのコア領域は、有効直径 d_0 及び実効屈折率 N_0 を有し、そのクラッド特徴構造は第 1 のクラッド材料の屈折率と異なる屈折率を有し、そのクラッド領域は N_0 より小さい実効屈折率を有するものである。さらに、クラッド領域が、実効屈折率 N_{c1} を有する内側クラッド領域と実効屈折率 N_{c0} を有する外側クラッド領域（ただし、 $N_{c1} < N_{c0}$ ）を含むことにより、大きな分散が得られることが示されている。

また、OFC' 96 Technical Digest, ThA3 には、W 型屈折率プロファイルを有する光ファイバが開示されており、この光ファイバにおいて、小さい（負に大きい）波長分散が実現できることが示されている。

また、Electronics Letters, vol. 18, pp. 824-826, (1982) には、コア領域の両側に空気の「サイドトンネル領域」を導入することによって、大きな複屈折率を実現すると同時に、2つの偏波モードのカットオフ周波数差を拡大して絶対単一偏波ファイバを実現できることが開示されている。

また、USP 5,907,652 では、次のような空気クラッド光ファイバが開示されている。すなわち、石英系ガラスの光ファイバであって、ファイバ中心から外周に向かって、順に、コア領域、内側クラッド領域、第 1 外側クラッド領

域、第2外側クラッド領域が存在し、内側クラッド領域の屈折率がコア領域の屈折率よりも低く、第1外側クラッド領域の実効屈折率は1.35よりも低い。また、光ファイバの光学特性が第2外側クラッド領域に依存しないように第1外側クラッド領域が選ばれている。空気クラッド光ファイバは、クラッド励起光ファイバレーザや長周期グレーティングに好適であることが示されている。

発明の開示

しかしながら、特開平10-95628号公報に開示されている微細構造光ファイバは、クラッド全体にわたって微細構造が分布しており、微細構造の数が多い。例えば、同公報は、「発明者らのシミュレーションによれば、少なくとも4層の第2の毛管特徴構造を与えなければならないことを示している。」という記載があるが、この場合、毛管特徴構造の数は、少なくとも90個と多数となってしまう。微細構造の数がこのように多くなると、製造が困難になる。同公報によれば、この微細構造光ファイバの製造工程は以下の通りである。すなわち、孔の空いたシリカ管と孔の空いていないシリカロッドを準備し、シリカロッドの周りに多数のシリカ管を配置して管束バンドルを作り、管束バンドルとオーバクラッド管とをコラプスさせてプリフォームを作り、このプリフォームを線引する。しかし、細径のシリカ管を配列を乱さないように束ねて管束バンドルを作製する作業は手間がかかる。また、配列が乱れる可能性が高いため、再現性の良い製造は困難である。製造の困難さは、微細構造の数の増加に伴って増大する。

一方、上記の製造工程以外に、従来の不純物添加型光ファイバのプリフォームに穿孔器具によって孔をあけるという工程も考えられる。しかし、この工程を用いた場合も、従来の微細構造光ファイバは多数の微細構造を含むため、製造コストが高い。

また、同公報に開示されている光ファイバは、特に微細構造が空孔である場合、以下のような問題点を有する。第一に、空孔を含むことによって光ファイバの強度が低下するため、張力や側圧に対する強度が低くなってしまう。第二に、空孔

表面のOH基や空孔内の水蒸気による吸収損失が生じる可能性がある。そのため、製造やファイバ接続の際には、空孔への水蒸気侵入の可能性を低減するための処置が必要となり、これらの作業が難しくなる。第三に、融着接続の際にガラスが融けて孔がつぶれると、コアとクラッドの間の実効屈折率差がなくなって、クラッドに漏れ出す光パワーが著しく増加するため、融着部における伝搬損失が増大する。上記第一、第二の問題点は、微細構造の数の増加に伴って影響がさらに増大する。

また、OFC' 96 Technical Digest, ThA3に開示されている不純物添加型光ファイバでは、実現可能な屈折率差が小さい。その結果、負分散の絶対値の大きさや、負分散スロープの絶対値の大きさや、実効コア断面積の大きさや、曲げ損失の低さに関して、実現できる値の範囲が制限されてしまう。

また、Electronics Letters, vol. 18, pp. 824-826, (1982)に開示されている光ファイバでは、コアの両側に導入された空気の「サイドトンネル領域」を有するため、直線複屈折が大きい。しかし、光伝送への応用、特に既存の光伝送路の一部に組み込む応用にとっては、複屈折が小さいことが望ましい。複屈折の大きい光ファイバに入射する光の偏波状態が、ファイバの主偏波状態に一致していない場合、偏波モード分散による伝送品質劣化が生じる。そのため、入射光の偏波状態を一定にするための素子が必要となり、コストが増大してしまう。また、既存の光伝送路の大部分は、偏波選択性がなく、既存の光伝送路から出射する光の偏波状態は不定である。このように、偏波状態が不定である光の偏波状態を一定に保つことは困難である。

また、USP 5, 907, 652で開示された空気クラッド光ファイバでは、負に大きな波長分散や負に大きな波長分散スロープを得ることが難しい。これは、第1外側クラッドの実効屈折率を下げることによって第2外側クラッド領域が光学特性に影響を及ぼさないようにすることに主眼がおかれていたためである。

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、小さい（負に大きい）波長分散、小さい（負に大きい）波長分散スロープ、大きい実効コア断面積、小さい曲げ損失を実現することができる光ファイバを提供することを目的とする。さらに、製造の容易化及びコストの低減、張力や側圧に対する強度の向上、空孔表面のOH基や空孔内の水蒸気による吸収損失発生の可能性の低減、及び融着損失の低減が図られた光ファイバを提供することを目的とする。

上記目的を満たすため、本発明に係る光ファイバは、実質的に均一な媒質で構成されるコア領域と、コア領域を包囲する内側クラッド領域と、内側クラッド領域を包囲し、実質的に均一な媒質で構成される外側クラッド領域とを有し、コア領域、内側クラッド領域、及び外側クラッド領域は、ファイバ軸に沿って伸びると共に光学特性に影響を与える領域であり、コア領域の平均屈折率 n_0 と、内側クラッド領域の平均屈折率 n_1 と、外側クラッド領域の平均屈折率 n_2 との間に、 $n_1 < n_2 < n_0$ なる関係が成立し、内側クラッド領域を構成する主媒質とは異なる屈折率を有する副媒質からなりファイバ軸に沿って伸びる領域が、内側クラッド領域に3個以上含まれる構成を採る。

ファイバ軸に対して垂直な断面内において、コア領域の形状は実質的に円であり、内側クラッド領域と外側クラッド領域の形状は実質的に円環である。コア領域、及び内側クラッド領域、及び外側クラッド領域の平均屈折率は、領域の内半径を a （コア領域の場合は0）、外半径を b として、次の n_{avg} で与えられる。

$$n_{avg} = \left\{ \frac{1}{\pi(b^2 - a^2)} \int_a^b \int_0^{2\pi} n^2(r, \theta) r d\theta dr \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots(1)$$

ただし、 r と θ とは、ファイバ断面内での位置を表す極座標であり、 $n(r, \theta)$ は断面内の屈折率分布を表す。一般に、コア領域、内側クラッド領域、及び外側クラッド領域の各領域における平均屈折率は、領域の定義に依存する。「実質的に均一な媒質で構成されるコア領域と、コア領域を包囲する内側クラッド領域

と、内側クラッド領域を包囲し、実質的に均一な媒質で構成される外側クラッド領域とを有し」、「コア領域の平均屈折率 n_0 と、内側クラッド領域の平均屈折率 n_1 と、外側クラッド領域の平均屈折率 n_2 との間に、 $n_1 < n_2 < n_0$ なる関係が成立する」とは、上記不等式が成立するような、コア領域と内側クラッド領域と外側クラッド領域の定義の仕方が存在することを意味する。なお、ファイバ強度を向上させるために、ガラスや樹脂などの材料からなるジャケット領域で外側クラッド領域を囲むこともできる。この時、ジャケット領域が光学特性に影響を及ぼすのを防ぐために、外側クラッド領域は十分な半径方向の厚みを持っていないなければならない。一方、外側クラッド領域は光学特性に影響を及ぼす領域であり、内側クラッド領域の平均屈折率と厚さは、外側クラッド領域が光学特性に影響を及ぼすように選ばれる。

コア領域と外側クラッド領域は実質的に均一な媒質で構成される。これは、これらの領域を構成する材料の主成分が領域内で一様であることを意味する。このとき、不純物濃度が領域内で変化する構成を適宜採ることも可能である。例えば、コア領域は不純物としてGeを含むシリカガラスであり、中心から外周に向かってGe濃度が減少する構造を採ることができる。

主媒質とは、その媒質だけで光ファイバを構成することが現実的に可能な媒質である。また、互いに連結していない複数の主媒質領域が、1本の光ファイバ中にあることはない。一方、副媒質は、その媒質だけで光ファイバを構成することが現実的に不可能な媒質であってもよく、互いに連結していない複数の副媒質領域が、1本の光ファイバ中にあることもよい。典型的な主媒質としては石英系ガラスがあり、典型的な副媒質としては気体や液体がある。

このように、本発明に係る光ファイバでは、内側クラッド領域を構成する主媒質に加えて、この主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなる領域（以下、副媒質領域と称する。）を内側クラッド領域に導入する。一方、外側クラッド領域は実質的に均一な媒質で構成され、副媒質領域を含まない。これは、内側クラッド

領域の平均屈折率が外側クラッド領域の平均屈折率よりも低い光ファイバにおいて、負に大きな分散などの好ましい特性を得るためには、副媒質領域の導入によって内側クラッド領域の平均屈折率を下げれば十分であり、外側クラッド領域には副媒質領域を導入する必要はない、という発明者の認識に基づいている。一方、主媒質よりも屈折率の低い副媒質からなる領域を導入することにより、内側クラッド領域の平均屈折率を副媒質領域が無い場合に比べて大きく下げることができる。その結果、従来の不純物添加型光ファイバに比べて負に大きな分散や、負に大きな分散スロープや、大きな実効コア断面積や、小さな曲げ損失といった好ましい特性を得ることができる。また、本発明の光ファイバは、空気クラッド光ファイバと異なり、負に大きな分散や、負に大きな分散スロープを実現することができる。これは、副媒質領域を含む内側クラッド領域を囲む外側クラッド領域が、光学特性、とりわけ波長分散特性に影響を及ぼすためである。さらに、外側クラッド領域が実質的に均一な媒質で構成され、副媒質領域を含まないため、導入する副媒質領域の数を、従来の微細構造光ファイバに比べて大幅に減らすことができる。その結果、シリカ管を配列する製造方法、又は穿孔器具を用いてプリフォームに孔をあける製造方法のいずれを用いるにせよ、再現性よく製造することが容易となり、製造コストも低減することができる。

また、特に副媒質領域が空孔である場合、副媒質領域の数の減少により、従来の微細構造光ファイバに比べて張力や側圧に対する強度が向上すると共に、空孔表面のOH基や空孔内の水蒸気による吸収損失の発生の可能性が減少することによって製造や接続が容易になる。さらに、コア領域の屈折率が外側クラッド領域の屈折率よりも高いので、内側クラッドにおいて孔がつぶれた場合であっても光導波特性が失われず、融着損失を低減することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る光ファイバの断面図である

図 2 は、比較対象とする従来の不純物添加型光ファイバの断面図である。

図 3 は、モードフィールド径と、波長 1 5 5 0 nm における波長分散との関係を示す図である。

図 4 は、モードフィールド径と、波長 1 5 5 0 nm における波長分散スロープとの関係を示す図である。

図 5 は、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合と波長 1 5 5 0 nm における波長分散及び波長分散スロープとの関係を示す図である。

図 6 は、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合とコア領域の V 値との関係を示す図である。

図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る光ファイバの断面図である。

図 8 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る光ファイバの断面図である。

図 9 は、第 2 の実施の形態に係る光ファイバの光波長 λ と、波長分散 D と、実効コア断面積 A_{eff} との関係の計算結果を示す図である。

図 1 0 は、第 2 の実施の形態に係る光ファイバを負分散光ファイバとして含む光通信システムの構成図である。

図 1 1 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る光ファイバのファイバ軸方向の断面図である。

図 1 2 A は、図 1 1 における光ファイバを I - I 線で切断した断面図である。

図 1 2 B は、図 1 1 における光ファイバを II - II 線で切断した断面図である。

図 1 3 は、第 3 の実施の形態に係る光ファイバの区間 a 及び区間 b の波長分散特性の数値シミュレーション結果を示す図である。

図 1 4 は、第 3 の実施の形態に係る光ファイバにおいて、長さ 1 の区間 b に対して、長さ 0 . 4 8 の区間 a を組み合わせた場合の平均波長分散 D_{avg} を示す図である。

図 1 5 A は、第 4 の実施の形態に係る光ファイバの区間 a における断面図である。

図15Bは、第4の実施の形態に係る光ファイバの区間bにおける断面図である。

図16は、第4の実施の形態に係る光ファイバの区間a及び区間bの波長分散特性の数値シミュレーション結果を示す図である。

図17は、第4の実施の形態に係る光ファイバにおいて、長さ1の区間bに対して、長さ0.42の区間aを組み合わせた場合の平均波長分散 D_{avg} を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

(第1の実施の形態)

図1は、第1の実施の形態に係る光ファイバ10Bの断面図である。この光ファイバ10Bのコア領域11は半径 α の円形であり、14.5mol%の濃度のGeが添加されたシリカガラス（屈折率 $n_0=1.46567$ ）で構成され、コア領域11の周囲には純粋シリカガラス（屈折率 $n_2=1.44402$ ）を材料とする外半径 γ のクラッド領域12が設けられている。クラッド領域12は、コア領域11を囲み、副媒質領域13（屈折率 $n_3=1$ ）を有する内側クラッド領域14と、内側クラッド領域14を囲み副媒質領域13を含まない外側クラッド領域15とから構成されている。内側クラッド領域14において、主媒質は純粋シリカガラスであり、副媒質領域13を形成する副媒質は空気である。副媒質領域13は、半径 r の円形であり、半径 β' の円周上に実質的に等間隔で8個配置されている。また、外側クラッド領域15のさらに外側には、ガラスやポリマー等の材料で構成されるジャケット層が被覆されている。このジャケット層は、マイクロベンドの発生抑止やファイバの強度向上といった機械的な性能向上を図るものであるが、外側クラッド領域15は十分に厚く、ジャケット層が光学特性に与える影響は無視できる。内側クラッド領域14と外側クラッド領域15の境界は、 $\beta=2\beta'-\alpha$ なる半径を有する円周で定義する（これは、 β が β' と α の

平均であること、つまり、副媒質領域 14 の中心は、内側クラッド領域 14 のコア領域 11 との境界および外側クラッド領域 15 との境界から径方向に等距離に位置していることを意味する)。

この光ファイバ 10B の構造パラメータは、次の通りである。すなわち、 $\beta'/\alpha = 1.94$ 、 $r/\alpha = 0.135$ 、 $\gamma/\alpha = 18.3$ である。

ここで、前述したように、領域の内半径を a (コア領域の場合は 0)、外半径を b として、ファイバ断面内での位置を極座標で表し、この極座標を用いた断面内の屈折率分布を $n(r, \theta)$ で表すと、領域の平均屈折率 n_{avg} は再掲する次式で与えられる。

$$n_{avg} = \left\{ \frac{1}{\pi(b^2 - a^2)} \int_a^b \int_0^{2\pi} n^2(r, \theta) r d\theta dr \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots(1)$$

この式から、所定の領域中に一様な屈折率 n_m を有する主媒質中にこれと異なる屈折率 n_s を有する副媒質で形成された副媒質領域が存在する場合、領域内のそれぞれの断面積を A_m 、 A_s とすると、この所定領域の平均屈折率 n_{avg} は簡単に次式で表すことが可能である。

$$n_{avg} = \sqrt{\frac{A_m}{A_m + A_s} n_m^2 + \frac{A_s}{A_m + A_s} n_s^2} \quad \dots(2)$$

(2) 式と上述の各パラメータから内側クラッド領域 14 の平均屈折率 n_1 は 1.4366 となる。

図 2 は、比較対象とする従来の不純物添加型光ファイバ 10A の断面図である。光ファイバ 10A のコア領域 11 の材料は Ge 濃度 14.5 mol % のシリカ、内側クラッド領域 14 の材料は F 濃度 1.113 wt % のシリカ、外側クラッド領域 15 の材料は純シリカである。

この光ファイバ 10A の構造パラメータは、次の通りである。すなわち、 $\beta/\alpha = 2.88$ 、 $\gamma/\alpha = 18.3$ である。

図3～図6は、光ファイバ10A及び10Bにおいて、比率を一定に保ちながら寸法を変えることによってモードフィールド径を変化させたときの光学特性の変化を示す図である。図3及び図4における横軸はモードフィールド径MFDを示し、図3の縦軸は波長1550nmにおける波長分散 D_{1550} 、図4の縦軸は波長1550nmにおける波長分散スロープ S_{1550} をそれぞれ示す。また、図5は、光ファイバ10Bにおける外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合 P_{oc} と光学特性との関係を示す。図5の横軸は外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合 P_{oc} を示し、左縦軸及び右縦軸は波長1550nmにおける波長分散 D_{1550} 及び波長分散スロープ S_{1550} をそれぞれ示す。図6は、光ファイバ10Bにおける外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合 P_{oc} とファイバ寸法との関係を示し、横軸はコアのV値、縦軸は光パワーの割合 P_{oc} をそれぞれ示す。ここで、コアのV値とは寸法に比例する値であり、コア及び外側クラッドの屈折率をそれぞれ n_0 及び n_2 、真空中での波数を k として、

$$V = ka\sqrt{n_0^2 - n_1^2} \quad \dots(3)$$

で定義される。

図3及び図4は、光ファイバ10Bが光ファイバ10Aに比べて絶対値の大きな負の分散及び波長分散スロープを有することをそれぞれ示している。例えば $MFD = 7\mu m$ のとき、光ファイバ10Aでは $D_{1550} = -90 ps/nm/km$ 、 $S_{1550} = -0.25 ps/nm^2/km$ であるのに対し、光ファイバ10Bでは $D_{1550} = -107 ps/nm/km$ 、 $S_{1550} = -0.84 ps/nm^2/km$ である。負の分散及び波長分散スロープの絶対値が大きいことにより、正の分散及び波長分散スロープの補償に要する長さが短くて済むため、光ファイバ10Bは光ファイバ10Aに比べて正分散及び波長分散スロープの補償に適しているといえる。

図5は、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合 P_{oc} が0.008以上のときに、負の分散及び負の分散スロープが得られることを示している。また、外

側クラッド領域を伝搬するパワーの割合 P_{oc} が0.1以上のときに、特に絶対値の大きな負の分散及び負の分散スロープが得られることを示している。なお、図6に示すように、 $P_{oc} \geq 0.008$ を実現するためには $V_{core} \leq 1.63$ 、 $P_{oc} \geq 0.1$ を実現するためには $V_{core} \leq 1.34$ とされる。

以上説明したように、第1の実施の形態に係る光ファイバ10Bは、従来の空気クラッド光ファイバと異なり、小さい（負に大きい）波長分散と、小さい（負に大きい）波長分散スロープとを実現することができる。また、波長分散及び波長分散スロープは、不純物添加型の光ファイバ10Aに比べて負に大きい。そのため、光伝送路が有する正の波長分散や正の波長分散スロープを補償する用途に好適である。また、複屈折も小さい。さらに、従来の微細構造光ファイバと異なり、コアのガラス屈折率がクラッドでのガラス屈折率よりも高いので、融着時に孔がつぶれることによる接続損失が少ない。また、孔の数も8と少ないため製造が容易であり、強度も高い。特に外側クラッドを伝搬するパワーの割合が0.1以上の時に、絶対値の大きな負の波長分散及び負の波長分散スロープが得られる。

（第2の実施の形態）

図7及び図8は、本発明の第2の実施の形態に係る光ファイバ10E、10F及び10Gの断面図である。コア領域30と内側クラッド領域31は、Ge添加されたシリカガラス（屈折率 n_0 ）によって形成され、内側クラッド領域31は、副媒質領域32（屈折率 n_3 ）を複数有する。内側クラッド領域31において、主媒質はGe添加されたシリカガラス（ $n_0 = 1.46567$ ）であり、副媒質領域32を形成する副媒質は空気（ $n_3 = 1$ ）である。副媒質領域32は、半径 r の円形であり、半径 β' の円周上に実質的に等間隔で配置されている。内側クラッド領域の外周は半径 β の円周である。コア領域30と内側クラッド領域31の境界は半径 $\alpha = 2\beta' - \beta$ の円周で定義する。外側クラッド領域33は、純粋シリカガラスで形成されている。比較対象として、図2に示す不純物添加型光ファイバ10Aを用いる。

図7に示す光ファイバ10E及び10Fの構造パラメータは、次の通りである。すなわち、光ファイバ10Eについては、 $\alpha = 1.02 \mu\text{m}$ 、 $\beta' = 1.97 \mu\text{m}$ 、 $r = 0.253 \mu\text{m}$ である。このとき、内側クラッド領域31の平均屈折率 n_1 は1.43883となる。また、光ファイバ10Fについては、 $\alpha = 1.25 \mu\text{m}$ 、 $\beta' = 1.87 \mu\text{m}$ 、 $r = 0.215 \mu\text{m}$ である。このとき、内側クラッド領域31の平均屈折率 n_1 は1.43395となる。

また、図8に示す光ファイバ10Gについては、 $\alpha = 1.50 \mu\text{m}$ 、 $\beta' = 1.84 \mu\text{m}$ 、 $r = 0.155 \mu\text{m}$ である。このとき、内側クラッド領域31の平均屈折率 n_1 は1.4211となる。

次に、以上のような構造を持つ第2の実施の形態に係る光ファイバ10E～10Gの光波長 λ と、波長分散Dと、実効コア断面積 A_{eff} との関係の計算結果を図9に示す。横軸が光波長 λ 、左側縦軸が波長分散D、右側縦軸が実効コア断面積 A_{eff} となっている。光ファイバ10A、10E、10F及び10Gのいずれも、波長1550nmにおいて、実効コア断面積 $A_{\text{eff}} = 30 \mu\text{m}^2$ であるが、波長分散Dは、光ファイバ10Aが -155 ps/nm/km 、光ファイバ10Eが -164 ps/nm/km 、光ファイバ10Fが -208 ps/nm/km 、光ファイバ10Gが -254 ps/nm/km の順で負に大きくなっている。また、波長増加に対する実効コア断面積 A_{eff} の増加ベースに注目すると、光ファイバ10E及び10Fの波長増加に対する実効コア断面積 A_{eff} の増加ベースは、光ファイバ10Aの波長増加に対する実効コア断面積 A_{eff} の増加ベースよりも小さい。波長増加に対する実効コア断面積 A_{eff} の増加ベースが小さいということは、光がコアに良く閉じ込められており、曲げ損失が小さいことを意味する。また、一般に、実効コア断面積 A_{eff} を大きくすると曲げ損失も大きくなることから、曲げ損失を一定にして比較すると、光ファイバ10E及び10Fは、光ファイバ10Aよりも大きい実効コア断面積 A_{eff} を実現することができる。また、光ファイバ10E、10F及び10Gのいずれも、副媒質領域の配置が4回回転

対称性を実質的に有するので、2つの偏波モードが縮退し、モード複屈折が小さい。

従って、第2の実施の形態に係る光ファイバ10E~10Gは、図2に示す不純物添加型光ファイバ10Aに比べて、小さい（負に大きい）波長分散と、小さい曲げ損失と、大きい実効コア断面積とを実現することができる。波長分散が負に大きいため、正分散の補償に必要な長さが短く、かつ実効コア断面積が大きい。そのため、図10に示すような、光送信器50と、光受信器51と、正分散光ファイバ52と、負分散光ファイバ53を含む光通信システムにおいて、第2の実施の形態に係る光ファイバを負分散光ファイバとして用いれば、負分散光ファイバにおける非線型光学効果による伝送路品質劣化を抑制し、大容量の光通信システムを実現することができる。

本発明に係る光ファイバでは、内側クラッド領域を構成する主媒質に加えて、この主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなる領域を内側クラッド領域に導入する。一方、外側クラッド領域は実質的に均一な媒質で構成され、副媒質領域を含まない。主媒質よりも屈折率の低い副媒質からなる領域を導入することにより、内側クラッド領域の平均屈折率を副媒質領域が無い場合に比べて大きく下げることができる。その結果、従来の不純物添加型光ファイバに比べて負に大きな分散や、負に大きな分散スロープや、大きな実効コア断面積や、小さな曲げ損失といった好ましい特性を得ることができる。また、本発明の光ファイバは、空気クラッド光ファイバと異なり、負に大きな分散や、負に大きな分散スロープを実現することができる。これは、副媒質領域を含む内側クラッド領域を囲む外側クラッド領域が、光学特性、とりわけ波長分散特性に影響を及ぼすためである。さらに、外側クラッド領域が実質的に均一な媒質で構成され、副媒質領域を含まないため、導入する副媒質領域の数を、従来の微細構造光ファイバに比べて大幅に減らすことができる。そのため、シリカ管を配列する製造方法、又は穿孔器具を用いてプリフォームに孔をあける製造方法のいずれを用いるにせよ、再現性良く

製造することが容易となり、製造コストも低減することができる。

また、特に副媒質領域が空孔である場合、副媒質領域の数の減少により、従来の微細構造光ファイバに比べて張力や側圧に対する強度が向上すると共に、空孔表面のOH基や空孔内の水蒸気による吸収損失の発生の可能性が減少することによって製造や接続が容易になる。さらに、コア領域の屈折率が外側クラッド領域の屈折率よりも高いので、内側クラッドにおいて孔がつぶれた場合であっても光導波特性が失われず、融着損失を低減することができる。

なお、副媒質領域は、ファイバ軸を中心とする4回回転対称性が実質的に成立するように配置されていても良い。これにより、2つの偏波モードを実質的に縮退させ、複屈折を小さくすることができる。また、ファイバ軸を中心とする1個以上の同心円の円周上に実質的に等間隔で配置されていても良い。これにより、2つの偏波モードを実質的に縮退させ、複屈折を小さくすることができる。また、円周に沿って副媒質領域を配置することにより、この円周を含む円環領域の屈折率を一様に変化させたのと同等の効果を得ることができる。このため、従来の不純物添加型光ファイバと同様に、半径方向の屈折率プロファイルに基づく設計が可能となる。従って、系統的な設計が容易となる。また、ファイバ軸を中心とする円の円周上に実質的に等間隔で配置されていても良い。2つの偏波モードを実質的に縮退させ、複屈折を小さくすることができる。また、系統的な設計が容易となる。さらに、副媒質領域の数を最小限に抑えることにより、製造の容易性、高い強度、高い信頼性を実現することが可能となる。

また、本実施の形態に係る光ファイバは、波長1550nmにおける外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合を0.008以上（より好ましくは0.1以上）とすることができる。そのため、外側クラッド領域を単なる機械的強度の向上等のための領域ではなく、光ファイバの光学特性（とりわけ波長分散特性）に現実的に影響を及ぼす領域とすることができる。特に、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合が0.008以上であることにより、小さい（負に大きい）

波長分散スロープを実現できる。また、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合が0.1以上であることにより、小さい（負に大きい）波長分散を実現できる。

さらに、コア領域の媒質と、内側クラッド領域の主媒質と、外側クラッド領域の媒質とは、不純物が添加される場合がある石英系ガラスであり、内側クラッド領域における副媒質領域を形成する副媒質は気体又は真空である構成を採っても良い。これにより、伝送損失を低く抑えると共に、内側クラッドの平均屈折率を大きく低下させて、従来の不純物添加型光ファイバに比べて負に大きな分散などの好ましい特性を実現することが可能となる。

（第3の実施の形態）

図11は、本発明の第3の実施の形態に係る光ファイバ10Hのファイバ軸方向の断面図である。また、図12Aは、図11における光ファイバをI-I線で切断した断面図であり、図12Bは、図11における光ファイバをII-II線で切断した断面図である。第3の実施の形態に係る光ファイバ10Hは、ファイバ軸方向に区間aと区間bとが交互に配置されており、区間aでは内側クラッド領域44に空孔43を含むが、区間bでは空孔43を含まない。区間aと区間bの間には、遷移区間cが存在し、遷移区間cでは空孔断面積がファイバ幅方向に変化している。区間aと区間bの長さは、典型的には100m以上である。一方、遷移区間cの長さは1m以下とすることができる。この時、遷移区間cの光学特性が光ファイバ全体の光学特性に及ぼす影響は無視できる。コア領域41の直径は 2α であり、区間a及び区間bにおいて同一の値である。図12Aに示すように、区間aでは、ファイバ軸を中心とする半径 β' の円周上に8個の空孔43（半径 r ）が等間隔で配置されている。区間aにおける屈折率分布は、空孔43を含む円環領域であるディプレスト部を有する屈折率分布に相当し、区間bにおける屈折率分布は、ディプレスト部を有さない屈折率分布に相当する。また、第1及び第2の実施の形態と同様に、内側クラッド領域44の外半径は $\beta = 2\beta' - \alpha$ と

し、外側クラッド領域45の外半径は γ とする。

この光ファイバ10Hの構造パラメータは、次の通りである。すなわち、 $\alpha = 1.70 \mu\text{m}$ 、 $\beta' = 2.74 \mu\text{m}$ 、 $r = 0.25 \mu\text{m}$ である。コア領域41は、Ge濃度12mol%のシリカ、内側クラッド領域44の主媒質はGe濃度5.0mol%のシリカ、外側クラッド領域45は純シリカである。区間aでは空孔43を含むのに対し、区間bでは空孔43を含まないため、内側クラッド領域44の平均屈折率 n_1 は、区間aにおいて1.435、区間bにおいて1.452であり、ファイバ軸方向に変化した状態となっている。

図13は、光ファイバ10Hの区間a及び区間bの波長分散特性の数値シミュレーション結果を示す図である。ここでは、図13に示すように、波長範囲を1510nmから1600nmとした。区間aでは、負の波長分散と負の波長分散スロープとを有し、区間bでは、正の波長分散と正の波長分散スロープとを有する。特に、波長1550nmにおける波長分散D及び波長分散ロープSは、

区間aでは、

$$D = -12.8 \text{ ps/nm/km、}$$

$$S = -0.129 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \text{ であり、}$$

区間bでは、

$$D = +6.16 \text{ ps/nm/km、}$$

$$S = +0.065 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \text{ である。}$$

また、1550nmにおいて、外側クラッド領域を伝搬する光パワーの割合 P_{oc} は0.048である。

図14は、長さ1の区間bに対して、長さ0.48の区間aを組み合わせた場合の平均波長分散 D_{avg} を示す図である。ここで、波長分散 D_i 、長さ L_i のファイバ区間 i ($i = 1, 2, \dots, n$) が連結されているとき、連結されたファイバ区間全体の平均波長分散 D_{avg} を次式で定義する。また、連結されたファイバ区間全体の長さを L として、累積波長分散を $D_{avg}L$ で定義する。

$$D_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad \dots(4)$$

同様に、波長分散スロープ S_i 、長さ L_i のファイバ区間 i ($i = 1, 2, \dots, n$) が連結されているとき、連結されたファイバ区間全体の平均波長分散スロープ S_{avg} を次式で定義する。また、累積波長分散スロープを $S_{avg} L$ で定義する。

$$S_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad \dots(5)$$

波長分散が一定であるとみなすことができるファイバ区間における波長分散を局所波長分散と呼ぶ。これは、このようなファイバ区間が複数接続された伝送路全体での累積波長分散と区別するためである。

図14に示されるように、平均波長分散 D_{avg} 及び平均波長分散スロープ S_{avg} は、波長 1550 nm において実質的にゼロとなる。そのため、上記の比率で区間 a 及び区間 b を有する光ファイバ伝送路では、1510 nm から 1600 nm の広い波長帯域において平均波長分散の絶対値が 0.4 ps/nm/km 以下となる。一方、図13に示されるように局所波長分散の絶対値は 4 ps/nm/km 以上と大きい。また、遷移区間に含まれる一部のファイバ区間においては局所波長分散の絶対値が小さくなるが、このようなファイバ区間の長さは短く（例えば、1 m 以下）できるので、遷移区間における非線形光学現象の影響は無視できる大きさである。従って、累積分散による光パルス広がり、異なる波長の光信号間の非線形光学現象による伝送品質劣化を同時に抑制することができる。

このように、第3の実施の形態に係る光ファイバでは、ファイバ断面内の屈折率分布をファイバ軸方向に大きく変化させることができるため、波長分散の対波

長特性をファイバ軸方向に大きく変化させることができる。そのため、1種類のファイバ区間からなる光ファイバでは実現が困難又は不可能である波長分散特性を実現することができる。特に、局所波長分散の絶対値が大きく、累積波長分散の絶対値が小さいという特性を実現することができる。

また、本実施の形態に係る光ファイバでは、従来の分散マネジメントファイバに比べて、ファイバ断面内の屈折率分布をファイバ軸方向に大きく変化させることによって、波長分散の対波長特性をファイバ軸方向に大きく変化させることができる。そのため、 $1510\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$ の波長帯における波長分散が -10 ps/nm/km より小さいファイバ区間aと、その波長帯における波長分散が $+5\text{ ps/nm/km}$ より大きいファイバ区間をbとを有し、その波長帯における平均波長分散の絶対値が 0.4 ps/nm/km よりも小さく、その波長帯においてファイバ区間aの波長分散スロープが負であると共にファイバ区間bの波長分散スロープが正である光ファイバを実現することができる。その結果、従来技術に比べて、累積波長分散の絶対値が所定の値よりも小さくなる波長範囲を拡大し、伝送容量を拡大することができる。

さらに、本実施の形態に係る光ファイバは、空孔を含まない複数の区間bがファイバ軸方向に間隔をおいて配置されている。その結果、区間bにおいて光ファイバをクリーブし、他の光ファイバと融着接続できる。この時、従来の微細構造光ファイバと異なり、融解による副媒質領域の変形・消失や、副媒質領域によるコアの認識の妨害の問題が起こらないので、従来の微細構造光ファイバに比べて融着接続が容易になる。また、端面において外気に対して開いた空孔がなく、汚染物質が空孔に侵入しない。そのため、屈折率マッチング液を用いて低損失の機械的接続を実現することができる。さらに、一部のファイバ区間aにおいて側面が損傷し、空孔内に水などの汚染物質が侵入した場合も汚染物質はファイバ全体には行き渡らないため、損傷に対する耐性が従来の微細構造光ファイバに比べて高い。

(第4の実施の形態)

図15A及び図15Bは、それぞれ本発明の第4の実施の形態に係る光ファイバ10Iの区間a及び区間bにおける断面図である。第4の実施の形態に係る光ファイバ10Iは、第3の実施の形態に係る光ファイバ10Hと同様に、ファイバ軸方向に区間aと区間bとが交互に配置されており、区間aでは内側クラッド領域54に空孔53を含むが、区間bでは空孔53を含まない。区間aと区間bの間には、遷移区間cが存在し、遷移区間cでは空孔断面積がファイバ幅方向に変化している。区間aと区間bの長さは、典型的には100m以上である。一方、遷移区間cの長さは1m以下とすることができる。この時、遷移区間cの光学特性が光ファイバ全体の光学特性に及ぼす影響は無視できる。コア領域51の直径は 2α であり、区間a及び区間bにおいて同一の値である。図15Aに示すように、区間aでは、ファイバ軸を中心とする半径 β' の円周上に8個の空孔53(半径 r)が等間隔で配置されている。区間aにおける屈折率分布は、空孔53を含む円環領域であるディプレスト部を有する屈折率分布に相当し、区間bにおける屈折率分布は、ディプレスト部を有さない屈折率分布に相当する。また、第1～第3の実施の形態と同様に、内側クラッド領域54の外半径は $\beta = 2\beta' - \alpha$ とする。

この光ファイバ10Iの構造パラメータは、次の通りである。すなわち、 $\alpha = 1.74\mu\text{m}$ 、 $\beta' = 2.81\mu\text{m}$ 、 $r = 0.39\mu\text{m}$ である。コア領域51は、Ge濃度14mol%のシリカ(屈折率 $n_0 = 1.465$)、内側クラッド領域54の主媒質及び外側クラッド領域55は純シリカ(屈折率 n_2 及び $n_3 = 1.444$)である。区間aでは空孔43を含むのに対し、区間bでは空孔43を含まないため、内側クラッド領域54の平均屈折率 n_1 は、ファイバ軸方向に変化した状態となっている。

図16は、光ファイバ10Iの区間a及び区間bの波長分散特性の数値シミュレーション結果を示す図である。ここでは、図16に示すように、波長範囲を1

510 nmから1600 nmとした。区間aでは、正の波長分散と負の波長分散スロープとを有し、区間bでは、負の波長分散と正の波長分散スロープとを有する。特に、波長1550 nmにおける波長分散D及び波長分散スロープSは、区間aでは、

$$D = +29.7 \text{ ps/nm/km},$$

$$S = -0.079 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \text{ であり、}$$

$$\text{区間bでは、} D = -12.4 \text{ ps/nm/km},$$

$$S = +0.033 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \text{ である。}$$

また、1550 nmにおいて、外側クラッドを伝搬する光パワーの割合 P_{oc} は0.0081である。

図17は、長さ1の区間bに対して、長さ0.42の区間aを組み合わせた場合の平均波長分散 D_{avg} を示す図である。平均波長分散 D_{avg} 及び平均波長分散スロープ S_{avg} は、波長1550 nmにおいて実質的にゼロとなる。そのため、上記の比率で区間a及び区間bを有する光ファイバ伝送路では、1510 nmから1600 nmの広い波長帯域において平均波長分散の絶対値が1 ps/nm/km以下となる。一方、図16に示されるように局所波長分散の絶対値は10 ps/nm/km以上と大きい。従って、累積分散による光パルス広がり、異なる波長の光信号間の非線形光学現象による伝送品質劣化を同時に抑制することができる。

このように、第4の実施の形態に係る光ファイバでも、ファイバ断面内の屈折率分布をファイバ軸方向に大きく変化させることができるため、波長分散の対波長特性をファイバ軸方向に大きく変化させることができる。そのため、1種類のファイバ区間からなる光ファイバでは実現が困難又は不可能である波長分散特性を実現することができる。特に、局所波長分散の絶対値が大きく、累積波長分散の絶対値が小さいという特性を実現することができる。

また、波長分散の対波長特性のファイバ軸方向における変化を適切に設計する

ことにより、 $1510\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$ の波長帯における波長分散が 20 ps/nm/km より大きいファイバ区間aと、その波長帯における波長分散が -10 ps/nm/km より小さいファイバ区間bとを有し、その波長帯における平均波長分散の絶対値が 1 ps/nm/km よりも小さくなる光ファイバを実現することができる。本実施の形態に係る光ファイバでは、従来の分散マネジメントファイバに比べてファイバ断面内の屈折率分布をファイバ軸方向に大きく変化させることによって、波長分散の対波長特性をファイバ軸方向に大きく変化させることができるので、各区間における局所波長分散の絶対値を従来技術よりも大きくすることができる。その結果、累積波長分散による光パルス広がりや抑制すると同時に、異なる波長の光信号間での非線形光学現象による伝送品質劣化を従来技術よりも小さくすることができる。

さらに、本実施の形態に係る光ファイバでは、従来の分散マネジメントファイバに比べて、ファイバ断面内の屈折率分布をファイバ軸方向に大きく変化させることによって、波長分散の対波長特性をファイバ軸方向に大きく変化させることができる。そのため、 $1510\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$ の波長帯における波長分散が 20 ps/nm/km より大きいファイバ区間aと、その波長帯における波長分散が -10 ps/nm/km より小さいファイバ区間をbとを有し、その波長帯における平均波長分散の絶対値が 1 ps/nm/km よりも小さく、その波長帯においてファイバ区間aの波長分散スロープが負であると共にファイバ区間bの波長分散スロープが正である光ファイバを実現することができる。その結果、従来技術に比べて、累積波長分散の絶対値が所定の値よりも小さくなる波長範囲を拡大し、伝送容量を拡大することができる。

以上説明したように、本発明に係る光ファイバは、実質的に均一な媒質で構成されるコア領域と、コア領域を包囲する内側クラッド領域と、内側クラッド領域を包囲し、実質的に均一な媒質で構成される外側クラッド領域とを有し、コア領域、内側クラッド領域、及び外側クラッド領域は、ファイバ軸に沿って伸び、コ

コア領域の平均屈折率 n_0 と、内側クラッド領域の平均屈折率 n_1 と、外側クラッド領域の平均屈折率 n_2 との間に、 $n_1 < n_2 < n_0$ なる関係が成立する光ファイバにおいて、内側クラッド領域を構成する主媒質とは異なる屈折率を有する副媒質が、内側クラッド領域に3個以上含まれる構成を採る。

このような構成により、内側クラッド領域の平均屈折率を、副媒質領域が無い場合に比べて大きく下げることができるため、従来の不純物添加型光ファイバに比べて大きな負分散、大きな負分散スロープ、大きな実行コア断面積、及び小さな曲げ損失を実現することが可能となる。また、従来の空気クラッド光ファイバと異なり、外側クラッド領域が光学特性に影響を及ぼす結果、従来の空気クラッド光ファイバに比べて大きな負分散及び大きな負分散スロープを実現できる。また、導入する副媒質領域の数を大幅に減らすことができるため、再現性良く製造することが容易となり、製造コストも低減できる。また、従来の微細構造光ファイバに比べて張力や側圧に対する強度が向上すると共に、空孔表面のOH基や空孔内の水蒸気による吸収損失の発生の可能性が減少することによって製造や接続が容易になる。さらに、コア領域の屈折率が外側クラッド領域の屈折率よりも高いので、内側クラッドの孔がつぶれた場合であっても光導波特性が失われず、融着損失を低減させることができる。

産業上の利用可能性

本発明に係る光ファイバは、光伝走路あるいは分散補償ファイバとして好適に使用できる

請求の範囲

1. 実質的に均一な媒質で構成されるコア領域と、前記コア領域を包囲する内側クラッド領域と、前記内側クラッド領域を包囲し、実質的に均一な媒質で構成される外側クラッド領域とを有し、前記コア領域、前記内側クラッド領域、及び前記外側クラッド領域は、ファイバ軸に沿って伸びると共に光学特性に影響を与える領域であり、前記コア領域の平均屈折率 n_0 と、前記内側クラッド領域の平均屈折率 n_1 と、前記外側クラッド領域の平均屈折率 n_2 との間に、

$$n_1 < n_2 < n_0$$

なる関係が成立し、

前記内側クラッド領域を構成する主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなりファイバ軸に沿って伸びる領域が、前記内側クラッド領域に3個以上含まれることを特徴とする光ファイバ。

2. 所定波長における前記外側クラッド領域を伝搬する光パワーの全光パワーに対する割合が0.008以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

3. 所定波長における前記外側クラッド領域を伝搬する光パワーの全光パワーに対する割合が0.1以上であることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ。

4. 前記内側クラッド領域に含まれる副媒質からなる領域が50個以下であることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ。

5. 前記副媒質からなる領域がファイバ軸を中心とする4回回転対称性が実質的に成立するように配置されていることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ。

6. 前記副媒質からなる領域が、ファイバ軸を中心とする1個以上の同心円の円周上に実質的に等間隔で配置されていることを特徴とする請求項5記載の光ファイバ。

7. 前記副媒質からなる領域が、ファイバ軸を中心とする円の円周上に実質

的に等間隔で配置されていることを特徴とする請求項 6 記載の光ファイバ。

8. 所定の波長における基底モードの波長分散が、 -100 ps/nm/km よりも小さいことを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

9. 所定の波長において正の波長分散を有すると共に負の波長分散スロープを有することを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

10. 前記コア領域の媒質と、前記内側クラッド領域の主媒質と、前記外側クラッド領域の媒質は、不純物が添加される場合がある石英系ガラスであり、前記内側クラッド領域の副媒質は気体又は真空であることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

11. 光送信器と、光ファイバ伝送路と、光受信器からなる光通信システムにおいて、前記光ファイバ伝送路が、請求項 2 記載の光ファイバと、前記光ファイバと異なる符号の波長分散を持つ光ファイバを含むことを特徴とする光ファイバ通信システム。

12. 前記副媒質からなる領域の断面積及び屈折率の少なくとも一方が前記ファイバ軸方向に変化していることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

13. 所定の波長における波長分散が所定の正の値より大きい第 1 種ファイバ区間と、前記波長における波長分散が所定の負の値より小さい第 2 種ファイバ区間とを有する請求項 12 記載の光ファイバ。

14. 前記第 1 種ファイバ区間では、所定の波長における波長分散が $+1 \text{ ps/nm/km}$ より大きいと共に、前記第 2 種ファイバ区間では、前記波長における波長分散が -1 ps/nm/km より小さく、前記波長における波長分散の絶対値が 1 ps/nm/km を下回るファイバ区間の長さの合計が光ファイバ全長の $1/10$ 以下であることを特徴とする請求項 13 記載の光ファイバ。

15. 前記第 1 種ファイバ区間の前記波長における波長分散スロープと、前記第 2 種ファイバ区間の前記波長における波長分散スロープが、符号を異にすることを特徴とする請求項 13 記載の光ファイバ。

16. 前記副媒質を含まない複数のファイバ区間が、ファイバ軸方向に間隔を置いて配置されていることを特徴とする請求項2記載の光ファイバ。

図1

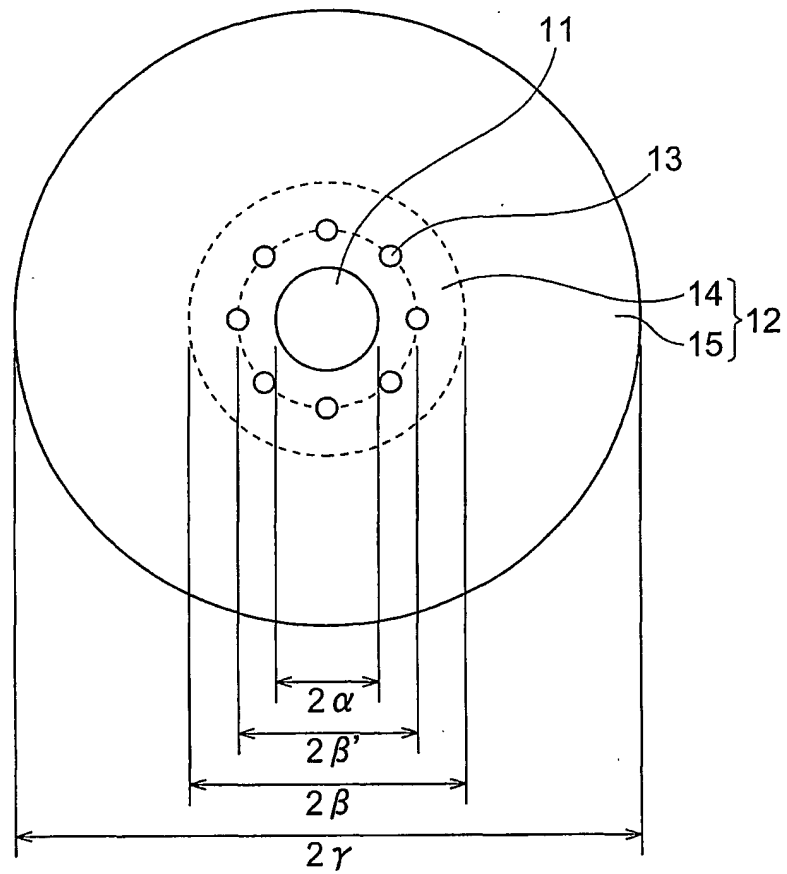


図2

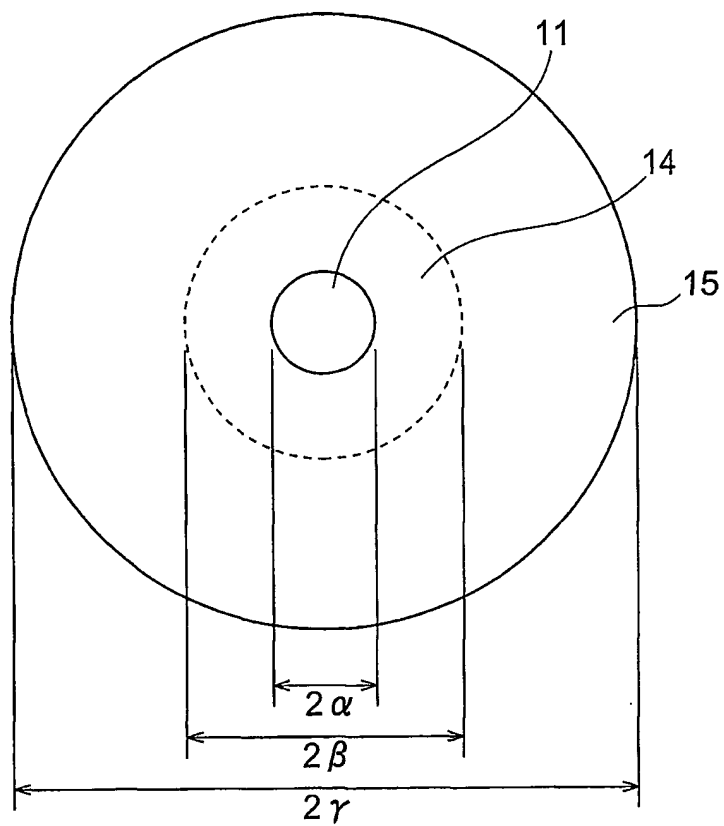


図3

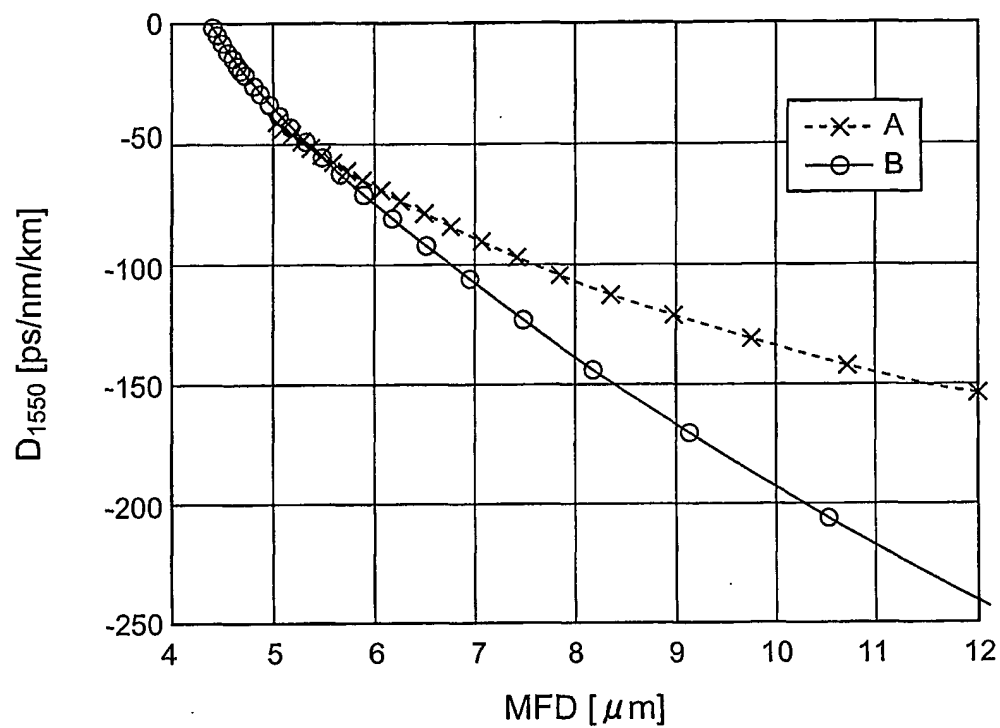


図4

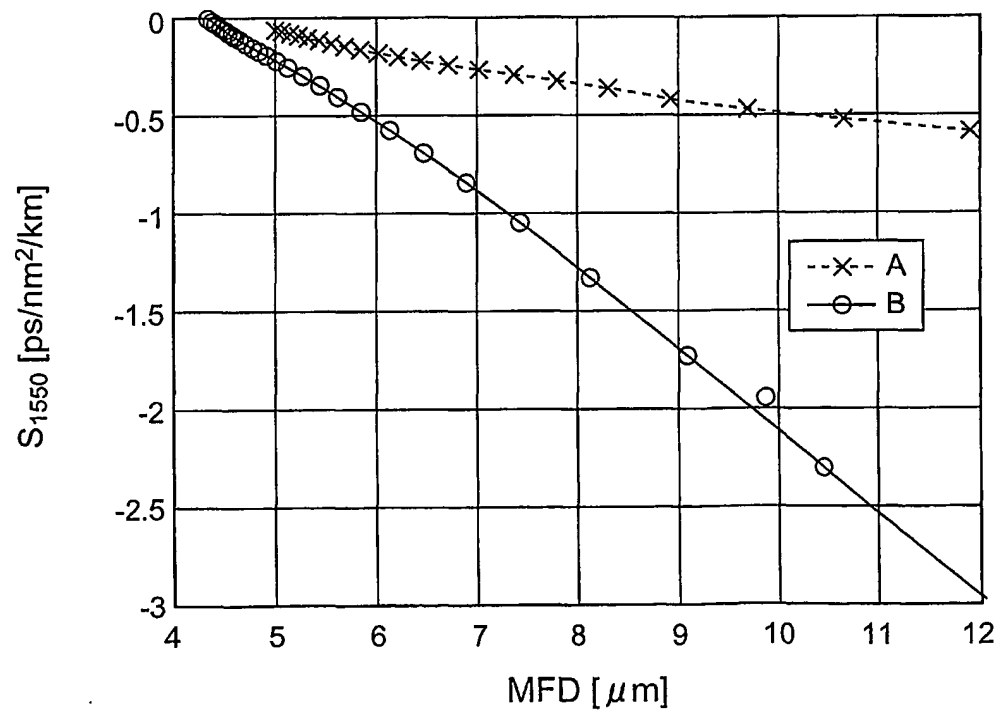


図5

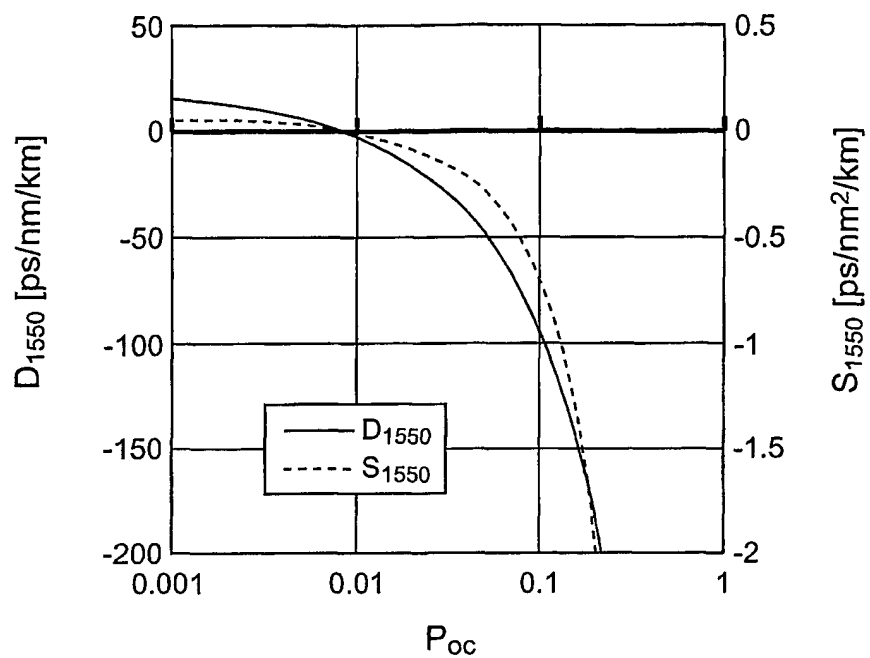


図6

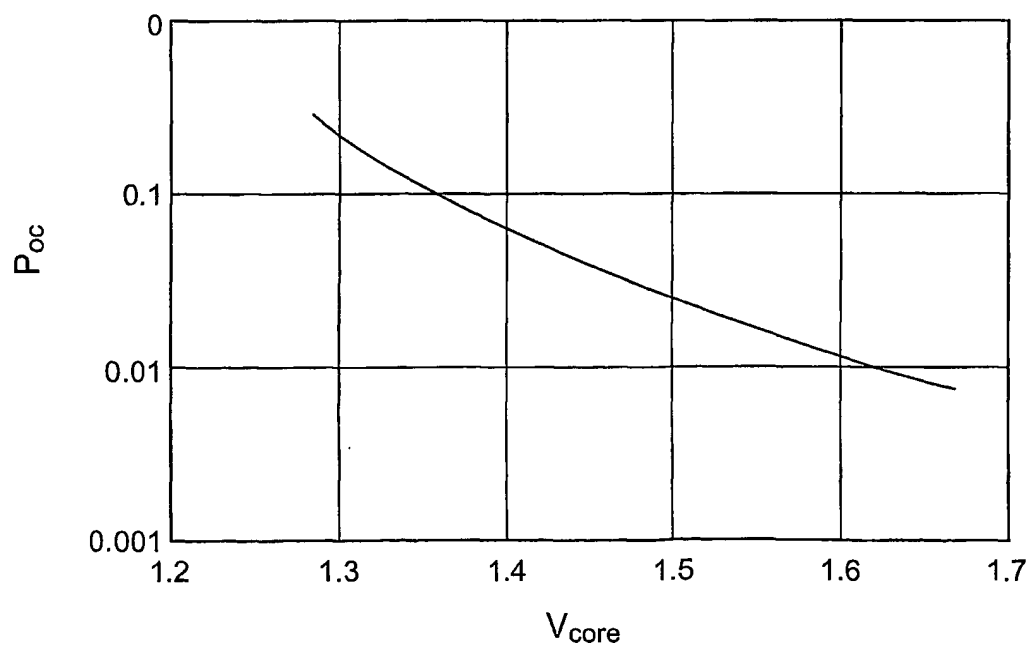


図7

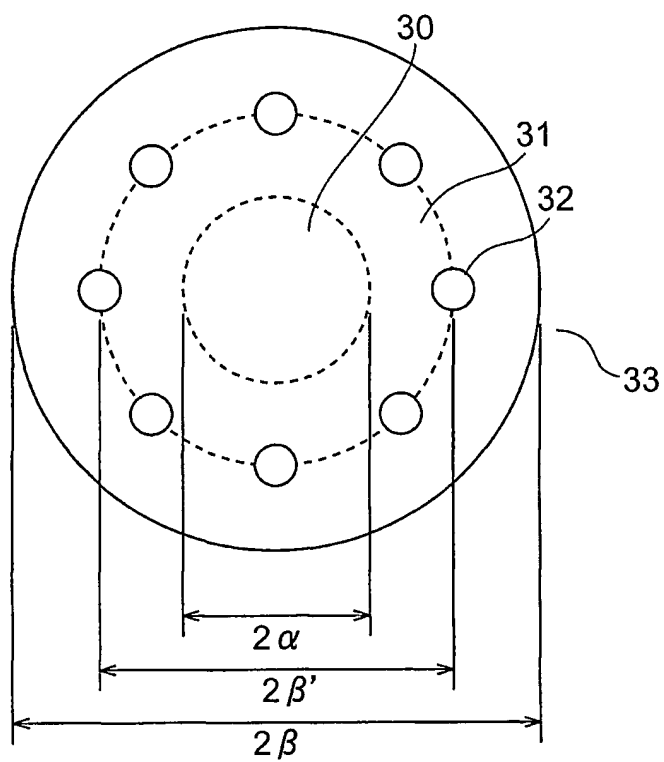


図8

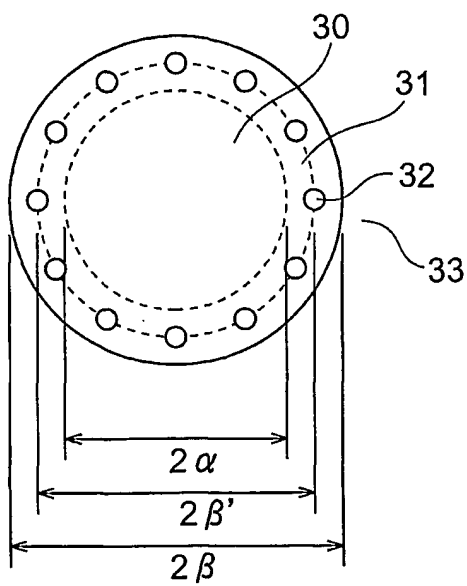


図9

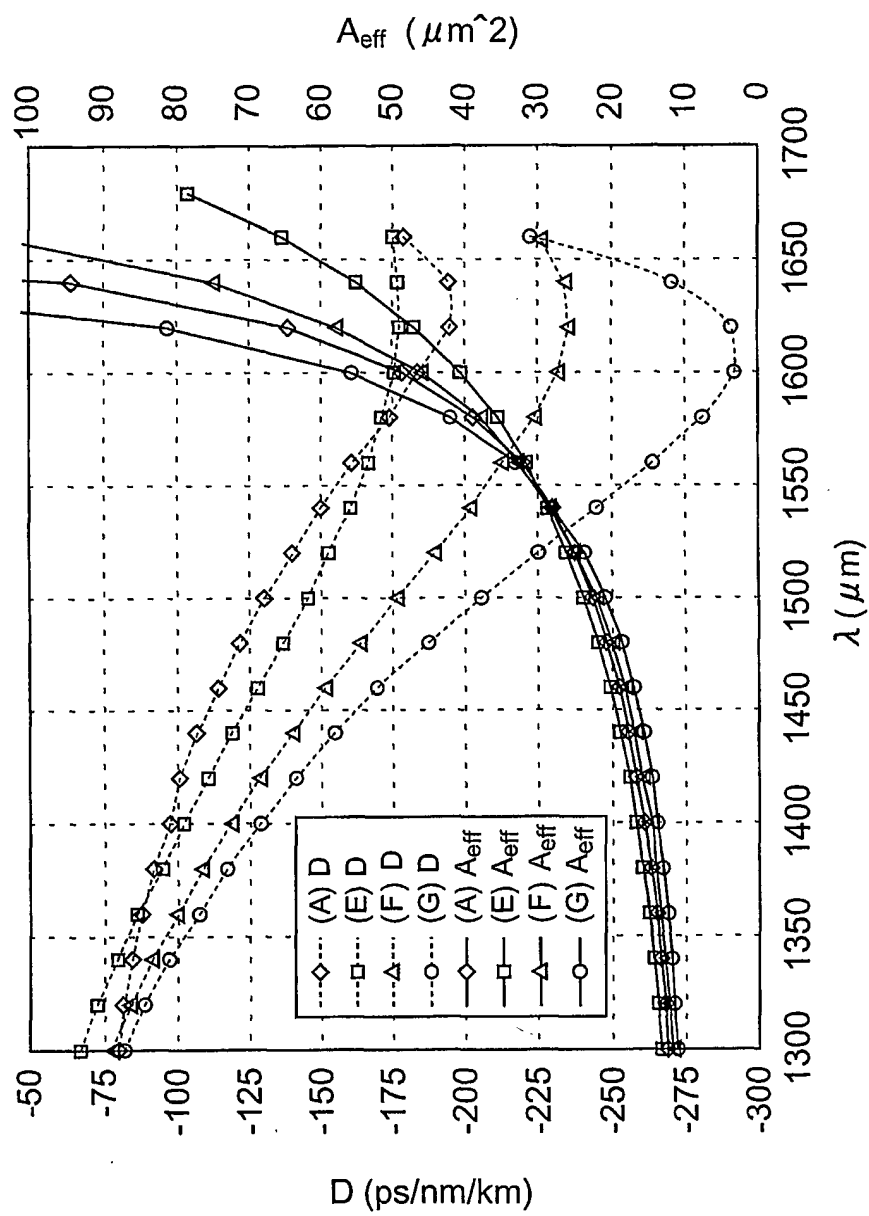


图10

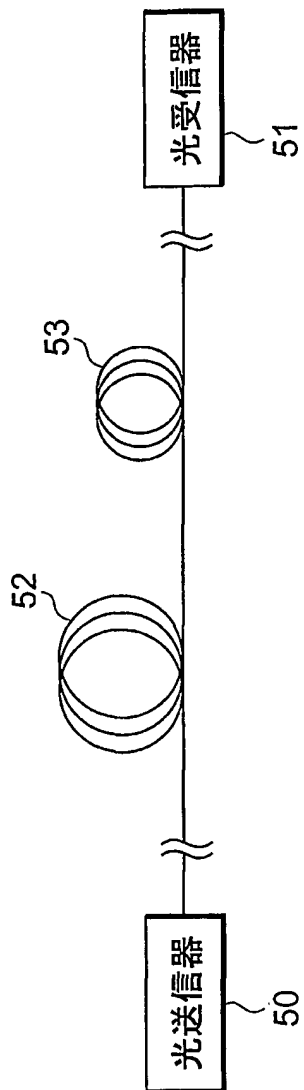


図11

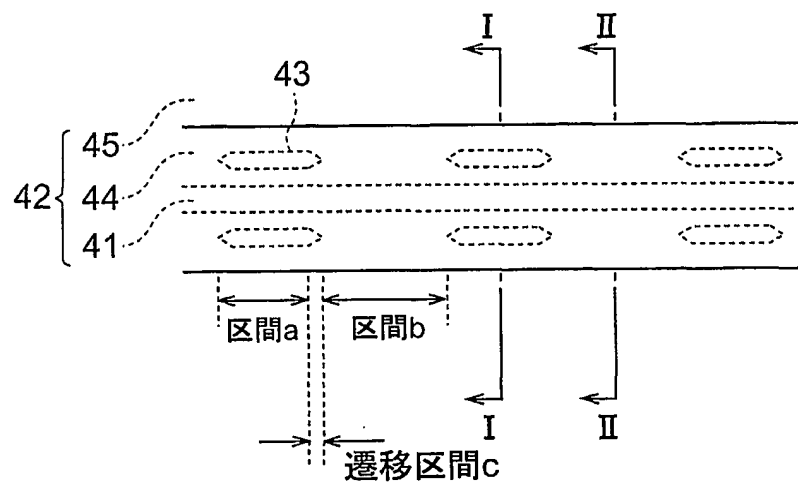


図12A

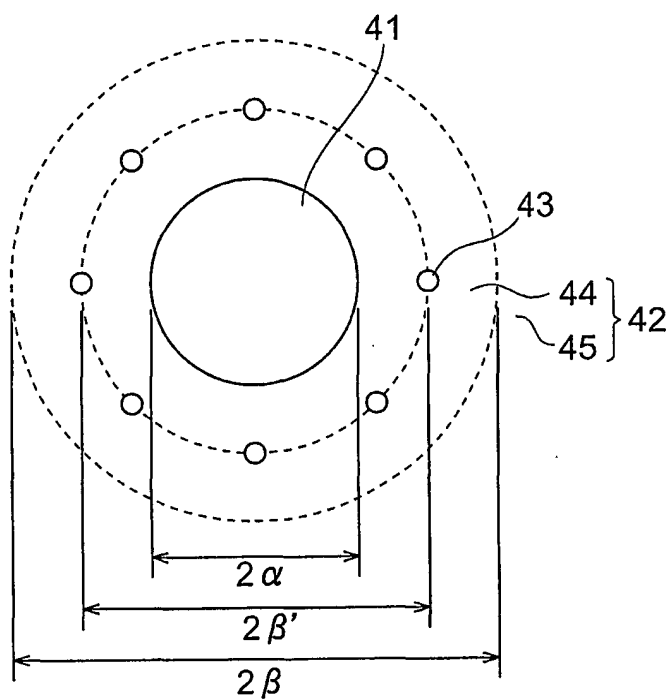


図12B

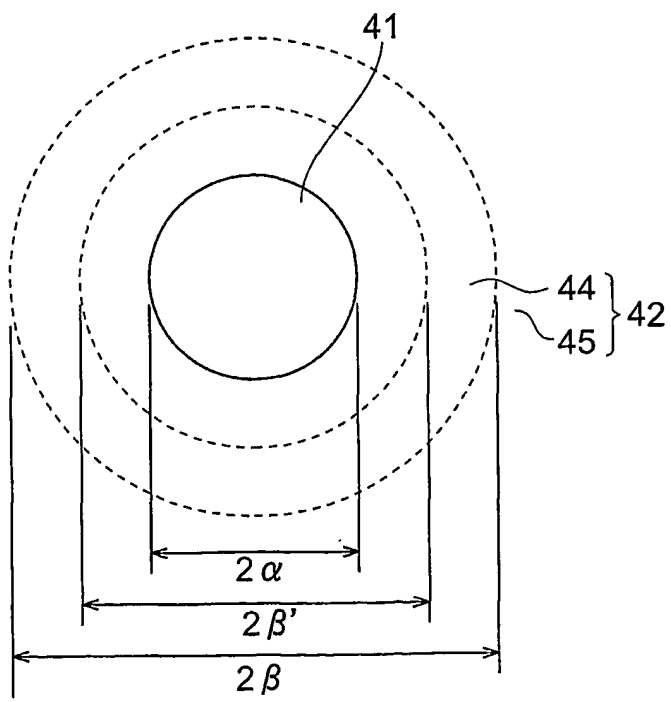
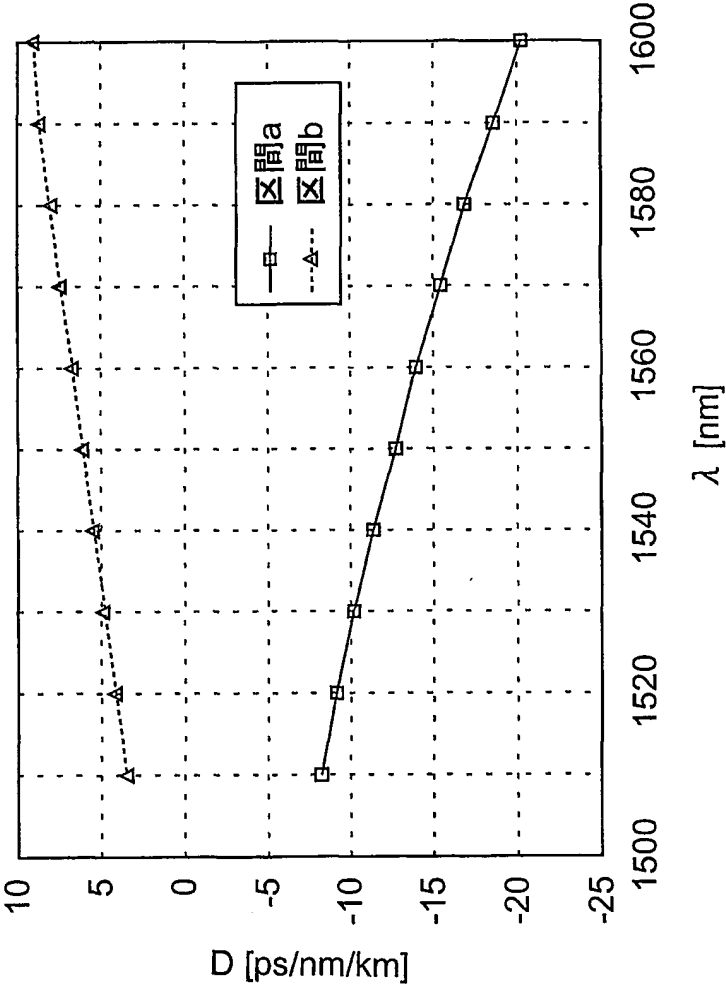


図13



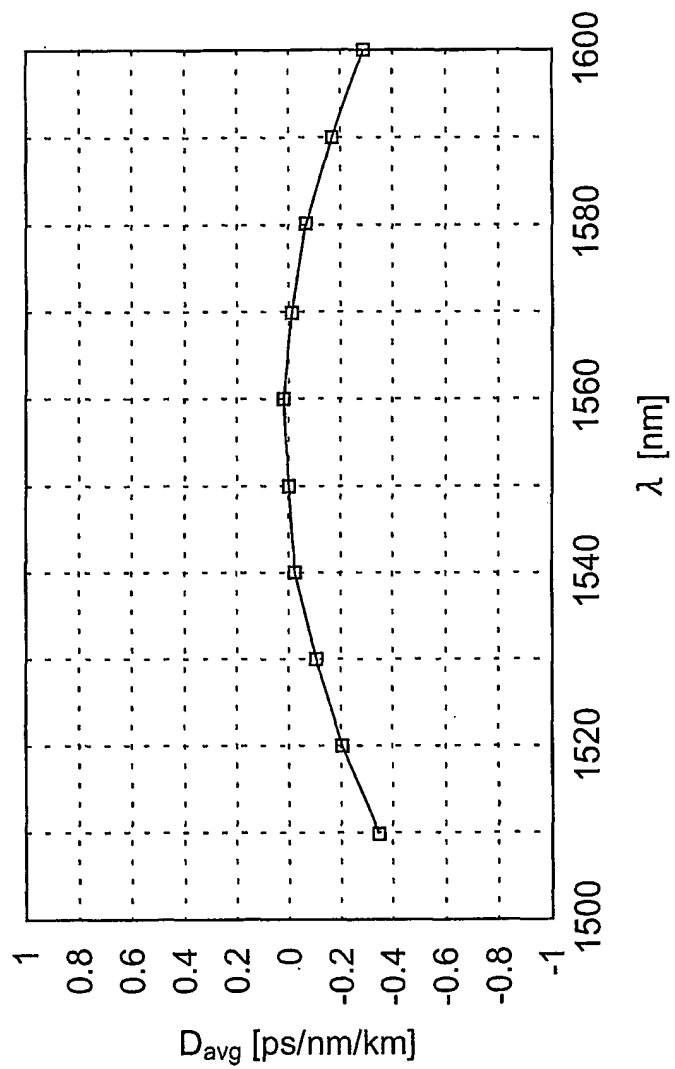
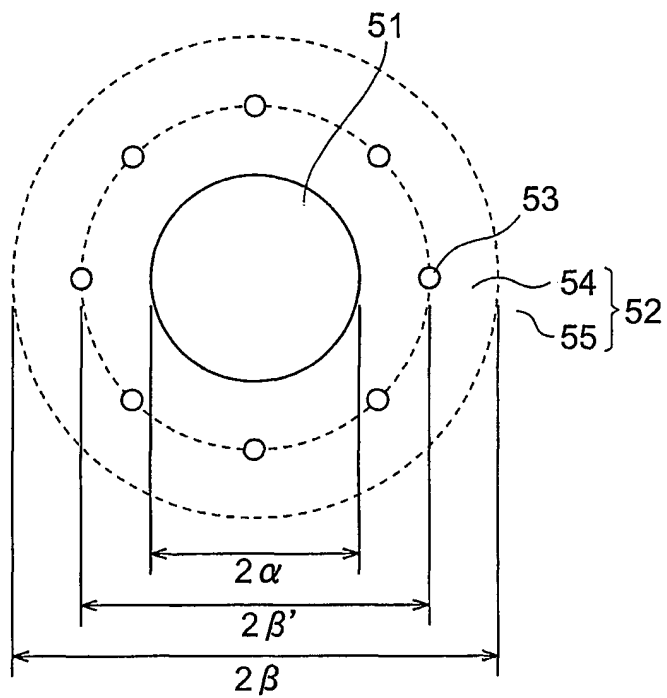


図14

15A



15B

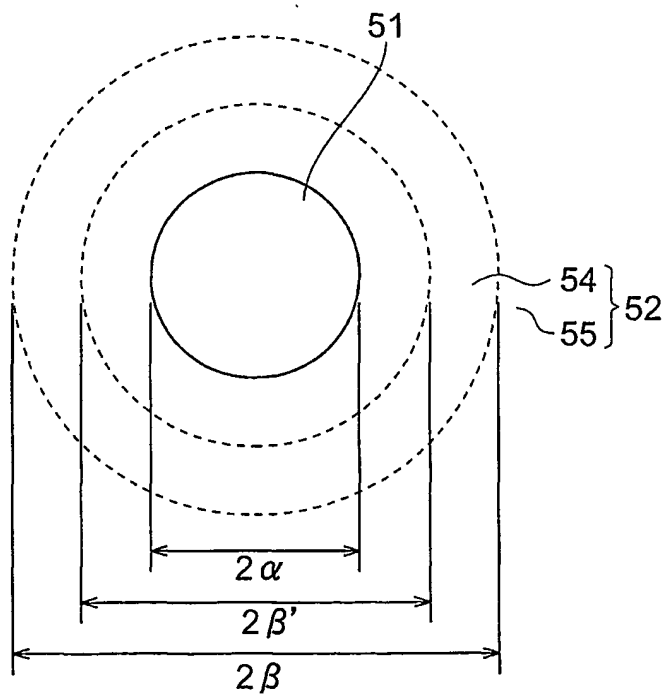


図16

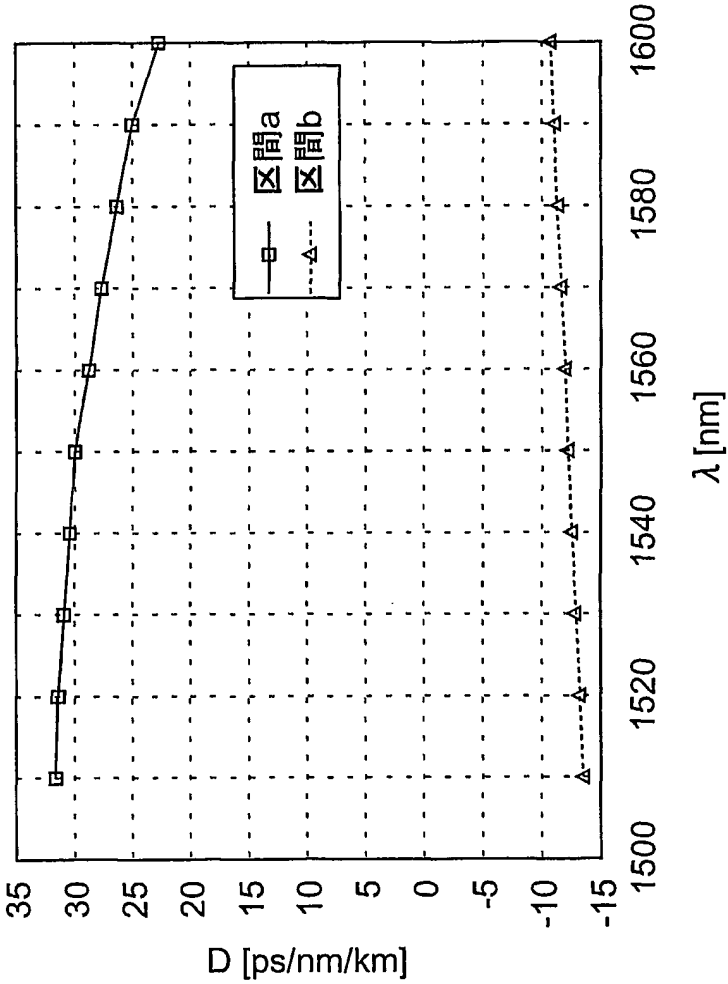
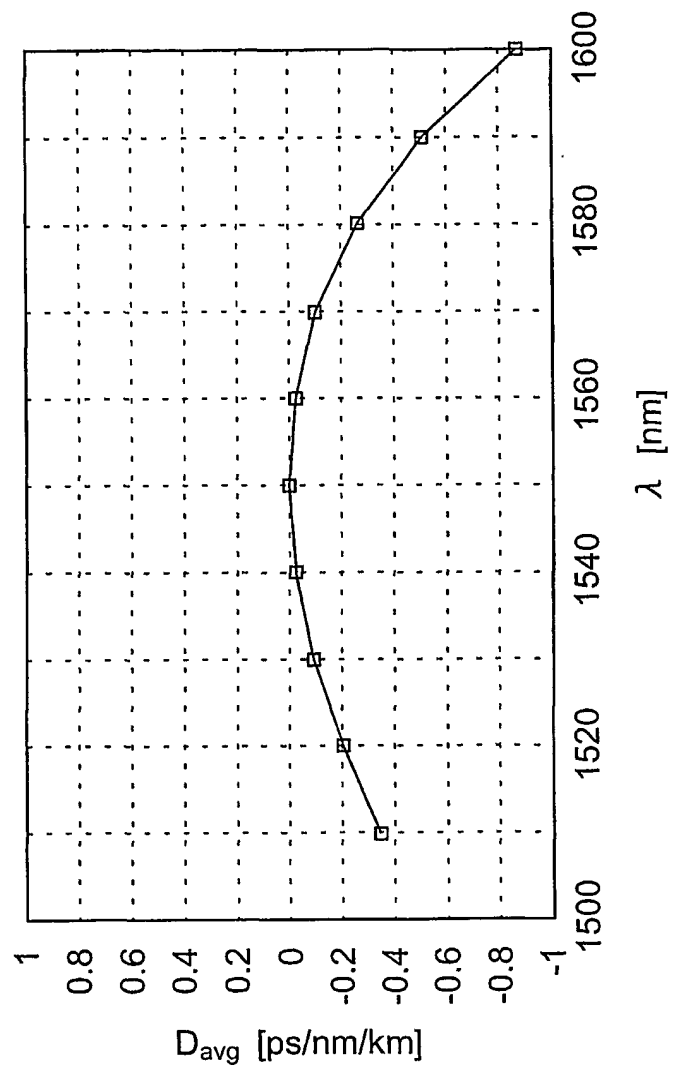


図17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/03282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02B 6/22, 6/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02B 6/00-6/54, C03B 37/00-37/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JOIS (JICST FILE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY)
Elsevier Science Server,
IEE Electronic Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, 5802236, A (Digiovanni, D.J.), 01 September, 1998 (01.09.98), Full text; all drawings; especially, Column 3, lines 26 to 43; Column 8, lines 56 to 60; Figs. 1, 2, 4 to 6, & EP, 810453, A & JP, 10-95628, A	1
A	US, 5854871, A (Akasaka, Y.), 29 December, 1998 (29.12.98), especially, Figs. 1, 2 & CA, 2201061, A & JP, 9-318833, A	1, 9, 11
A	JP, 10-325913, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 08 December, 1998 (08.12.98), Fig. 1 & CA, 2232101, A & FR, 2761483, A	1
A	Wadsworth, W. J., et al., "Soliton effects in photonic crystal fibres at 850nm", Electronics Letters, (06 January, 2000), Vol.36, No.1, pages 53 to 55; especially, Fig.1	4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family</p>
---	--

Date of the actual completion of the international search
25 May, 2001 (25.05.01)

Date of mailing of the international search report
12 June, 2001 (12.06.01)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/03282

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Russell, P. St. J., et al., "Recent Progress in Photonic Crystal Fibres", OFC2000, Optical Fiber Communication Conference, (March 2000), ThG1, page 98 to 100; especially, Fig. 2	4
A	Ferrando, A., et al., "Designing a photonic crystal fibre with flattened chromatic dispersion", Electronics Letters, (18th February, 1999), Vol.35, No.4, pages 325 to 327; especially, Figs. 2, 3	9
A	WO, 99/00685, A1 (The Secretary of State for Defense), 07 January, 1999 (07.01.99) (Family: none)	10
A	WO, 00/16141, A1 (Corning Inc.), 23 March, 2000 (23.03.00), Full text; all drawings (Family: none)	11-16
A	EP, 737873, A2 (Corning Inc.), 16 October, 1996 (16.10.96) & EP, 949519, A1 & EP, 949520, A1 & AU, 5046196, A & AU, 693329, A & BR, 9601344, A & CA, 2174055, A & CN, 1165305, A & JP, 8-320419, A & US, 5894537, A & US, 6044191, A & US, 6173588, A	11-16
P,A	XU, Jianqiu, et al., "Cylindrically symmetrical hollow fiber", Optics Communications, (15 August, 2000), Vol.182, pages 343 to 348	4-7
P,A	US, 6097870, A (Ranka, J. K.) 01 August, 2000 (01.08.00) & EP, 1054273, A2 & JP, 2000-356719, A	4-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/22, 6/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/00-6/54, C03B 37/00-37/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2001年
 日本国登録実用新案公報 1994-2001年
 日本国実用新案登録公報 1996-2001年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS (JICST科学技術文献ファイル),
 Elsevier Science Server,
 IEE Electronic Library

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US, 5802236, A (DIGIOVANNI, D.J.), 1. 9月. 1998 (01. 09. 98), 全文, 全図. 特に, 第3欄第26-43行, 第8欄第56-60行目, 第1, 2, 4-6図. &EP, 810453, A&JP, 10-95628, A	1
A	US, 5854871, A (AKASAKA Y), 29. 12月. 1998 (29. 12. 98), 特に, 第1, 2図 &CA, 2201061, A&JP, 9-318833, A	1, 9, 11
A	JP, 10-325913, A (古河電気工業株式会社), 8. 1	1

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 05. 01

国際調査報告の発送日

12.06.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福田 聡



2K 9514

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	2月. 1998 (08. 12. 98), 第1図 &CA, 2232101, A&FR, 2761483, A	
A	WADSWORTH, W.J. ET AL.: Soliton effects in photonic crystal fibres at 850nm; ELECTRONICS LETTERS, 6th January 2000, Vol. 36, No.1, pp.53-55. 特に、Fig.1.	4
A	RUSSELL, P.St.J. ET AL.: Recent Progress in Photonic Crystal Fibres; OFC2000, Optical Fiber Communication Conference, March 2000, ThG1, pp.98-100. 特に、第2図.	4
A	FERRANDO, A. ET AL.: Designing a photonic crystal fibre with flattened chromatic dispersion; ELECTRONICS LETTERS, 18th February 1999, Vol.35, No.4, pp.325-327, 特に、Fig.2, Fig.3	9
A	WO, 99/00685, A1 (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE), 7. 1月. 1999 (07. 01. 99) (ファミリーなし)	10
A	WO, 00/16141, A1 (CORNING INC.), 23. 3月. 2000 (23. 03. 00), 全文, 全図 (ファミリーなし)	11-16
A	EP, 737873, A2 (CORNING INC.), 16. 10月. 1996 (16. 10. 96) &EP, 949519, A1&EP, 949520, A1 &AU, 5046196, A, &AU, 693329, A, &BR, 9601344, A, &CA, 2174055, A &CN, 1165305, A&JP, 8-320419, A &US, 5894537, A&US, 6044191, A &US, 6173588, A	11-16
P, A	XU, Jianqiu ET AL.: Cylindrically symmetrical hollow fiber; OPTICS COMMUNICATIONS; 15 August 2000, Vol.182, pp.343-348	4-7
P, A	US, 6097870, A (RANKA, J.K.), 1. 8月. 2000 (01. 08. 00) &EP, 1054273, A2 &JP, 2000-356719, A	4-7